

## THERMAL AIR FLOW RATE SENSOR AND CONTROL DEVICE FOR INTERNAL COMBUSTION ENGINE

Patent Number: JP2002048616  
Publication date: 2002-02-15  
Inventor(s): YAMADA MASAMICHI; WATANABE IZUMI; NAKADA KEIICHI  
Applicant(s): HITACHI LTD;; HITACHI CAR ENG CO LTD  
Requested Patent: ☐ [JP2002048616](#)  
Application Number: JP20000244032 20000807  
Priority Number(s):  
IPC Classification: G01F1/692; F02D35/00; G01F1/699  
EC Classification:  
Equivalents:

---

### Abstract

---

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a thermal air flow rate sensor with a wide range of measuring flow velocity (flow rate), high -speed response, and high reliability, which is suitable for measuring intake air flow rate of an internal combustion engine, and the control device for the internal combustion engine that uses this sensor.

**SOLUTION:** A cavity 3 and a diaphragm (electrically insulated film 7a), which covers the cavity 3 are formed on a semiconductor substrate 2. A heating resistor 4 and resistance thermometer sensors 5a, 5b and 5c, 5d at an upper stream and a down stream are formed on one side of the film 7a, where the resistor 4 is placed between the sensors 5a, 5b and 5c, 5d, and then air flow rate is measured based on a temperature difference between the sensors 5a, 5b and 5c, 5d of the upstream and the downstream. The film 7a is structured with width W, which is in an air flowing direction at a part that covers the cavity 3, of 0.7 mm or less than, and the resistor 4 is structured with width Wh in the air flowing direction of 0.1 mm or above, and with laying width Ws in the air flowing direction of the range from 0.1 to 0.2 mm.

---

Data supplied from the [esp@cenet](mailto:esp@cenet) database - l2

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-48616

(P2002-48616A)

(43)公開日 平成14年2月15日 (2002.2.15)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

ターミナル (参考)

G 0 1 F 1/692

G 0 1 F 1/68

1 0 4 A

2 F 0 3 5

F 0 2 D 35/00

F 0 2 D 35/00

3 6 6 E

G 0 1 F 1/699

G 0 1 F 1/68

2 0 3

審査請求 未請求 請求項の数5 O L (全 10 頁)

(21)出願番号 特願2000-244032(P2000-244032)

(71)出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(22)出願日 平成12年8月7日 (2000.8.7)

(71)出願人 000232999

株式会社日立カーエンジニアリング

茨城県ひたちなか市高場2477番地

(72)発明者 山田 雅通

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株

式会社日立製作所日立研究所内

(74)代理人 100068504

弁理士 小川 勝男 (外1名)

最終頁に続く

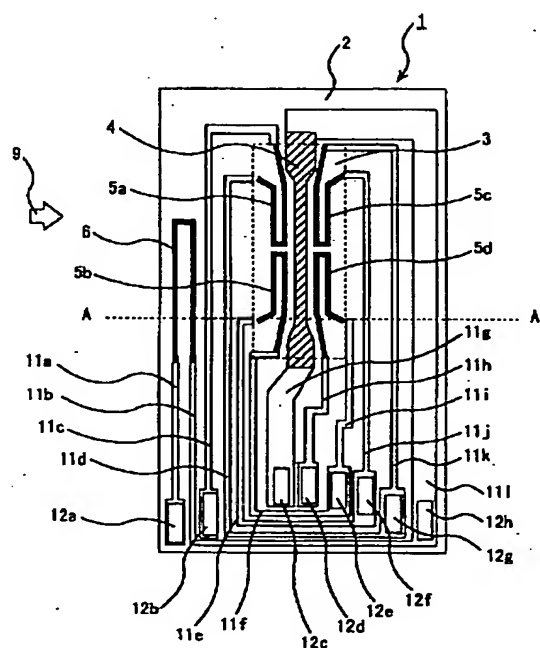
(54)【発明の名称】 熱式空気流量センサ及び内燃機関制御装置

(57)【要約】

【課題】計測流速（流量）範囲が広く、高速応答で且つ信頼性の高い内燃機関の吸入空気量の測定に好適な熱式空気流量センサと、この熱式空気流量センサを用いた内燃機関制御装置を提供する。

【解決手段】半導体基板2に空洞部3と該空洞部を覆うダイヤフラム部（電気絶縁膜7a）を形成する。電気絶縁膜7aの一面に発熱抵抗体4及びこれを挟んで上流側と下流側の測温抵抗体5a、5bと5c、5dとを形成し、上流側と下流側の測温抵抗体の温度差に基づき空気流量を計測する。電気絶縁膜7aは、空洞部を覆う部分における空気流れ方向の幅（W）が0.7mm以下、発熱抵抗体4は、空気流れ方向の幅（Wh）が0.1mm以上、各測温抵抗体は、空気流れ方向の敷設幅（Ws）が0.1～0.2mmの範囲で構成されている。

図 1



#### 【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体基板に空洞部と該空洞部を覆う電気絶縁膜よりなるダイヤフラム部を形成し、このダイヤフラムに発熱抵抗体とこの発熱抵抗体の熱的影響を受ける測温抵抗体とを形成し、前記測温抵抗体は前記発熱抵抗体を挟んで空気流の上流側と下流側に配置され、少なくともこの上流側と下流側の測温抵抗体の温度差に基づき空気流量を計測する熱式空気流量センサであって、前記ダイヤフラムは、空気流れ方向の幅(W)が0.7mm以下で、前記発熱抵抗体は、空気流れ方向の幅(W<sub>h</sub>)が0.1mm以上で、且つ、前記上流側、下流側の各測温抵抗体は、空気流れ方向の敷設幅(W<sub>s</sub>)が0.1~0.2mmの範囲で構成されていることを特徴とする熱式空気流量センサ。

【請求項2】 前記発熱抵抗体と前記測温抵抗体との空気流れ方向の間隔、及び前記測温抵抗体と前記ダイヤフラム部の端部との空気流れ方向の間隔は、5~50μmの範囲で構成されている請求項1記載の熱式空気流量センサ。

【請求項3】 前記発熱抵抗体と前記測温抵抗体が、それぞれの接続配線部を含めて不純物ドーパした多結晶又は単結晶の半導体膜で構成されている請求項1又は2記載の熱式空気流量センサ。

【請求項4】 前記半導体基板には、前記ダイヤフラム部から外れた位置の電気絶縁膜上に空気温度測温抵抗体が形成され、前記発熱抵抗体と前記空気温度測温抵抗体とがブリッジ回路に組み込まれ、このブリッジ回路は、前記発熱抵抗体に流れる加熱電流を前記空気温度測温抵抗体に対して所定の温度差を保つように制御する電流制御回路と接続され、

一方、前記上流側、下流側の各測温抵抗体は、それぞれ2個用いられ、これらの測温抵抗体によって、前記ダイヤフラム部における電気絶縁膜上の上流、下流の温度差を検出可能なもう一つのブリッジ回路が形成されている請求項1から3のいずれか1項記載の熱式空気流量センサ。

【請求項5】 請求項1~4のいずれか1項に記載の熱式空気流量センサを用いて内燃機関の吸入空気量を計測し、この計測値に基づき内燃機関の燃料噴射量を制御するように構成したことを特徴とする内燃機関制御装置。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、熱式空気流量センサと内燃機関制御装置に係り、特に内燃機関の吸入空気量の測定に好適な熱式空気流量センサと、この熱式空気流量センサを用いた内燃機関制御装置に関する。

##### 【0002】

【従来の技術】 熱式の空気流量センサは、質量空気量を直接計測できるという特長があり、このため自動車用内燃機関制御装置の吸入空気流量センサとして、従来から

広く利用されている。その中でも、最近では、半導体マイクロマシニング技術により作成した薄膜型の検出素子を用いた空気流量センサが、コスト低減と低電力駆動が可能である点から注目されている。

【0003】 熱式空気流量センサは、基本的には温度依存性を有する感温抵抗体を発熱抵抗体や測温抵抗体を利用するものである。その方式は種々ある。代表的なものとしては、空気流により熱が奪われる発熱抵抗体と空気温度測温抵抗体との温度差を所定値に保つように発熱抵抗体の加熱電流を制御し、その加熱電流を電気信号に変換して空気流量を計測するものや、さらに、最近では、半導体基板にマイクロマシニングにより空洞部と該空洞部を覆う電気絶縁膜(ダイヤフラム部)を形成し、このダイヤフラム部の一面に発熱抵抗体と該発熱抵抗体を挟んで上流側と下流側に位置する測温抵抗体とを形成し、前記上流側と下流側の測温抵抗体の温度差に基づき空気流量を計測するものが提案されている(例えば特公平8-12097号公報、特開平11-14414号公報等)。

【0004】 後者のタイプは温度差方式といわれ、空洞部により熱絶縁されたダイヤフラム部(電気絶縁膜)を発熱抵抗体によって加熱する。ダイヤフラム上に形成される温度分布は、発熱抵抗体の上流側と下流側とで空気流量が大きくなるほど温度差が大きくなるので、この温度差を上流側測温抵抗体及び下流側測温抵抗体を用いて検出することで空気流量を算出する。

【0005】 すなわち、温度差方式は、発熱抵抗体の上流と下流に配置された一对の測温抵抗体の抵抗値を比較して、空気流量を計測する。空洞部上にあるダイヤフラム部の温度分布は、発熱抵抗体の発熱と空気流により支配される。空気が流れていないときには、発熱抵抗体の発熱による温度分布は、空気の流れる方向に対して、上流と下流で対称になるから、上下流の測温抵抗体のある位置の温度には差が生じない。一方、空気が流れたとすると、上流側の測温抵抗体の冷却効果が、下流側の測温抵抗体に比して大きくなるので、これらの抵抗体の温度に空気流量に応じた差が生じる。この温度差を上下流の測温抵抗値の差により検出し、温度差が無いときの流量をゼロ値として空気流量を計測する。

##### 【0006】

【発明が解決しようとする課題】 温度差方式の熱式空気流量センサは、小形、低消費電力を実現でき、また空気の流量方向も検出できる利点があるが、低流量(低流速)から高流量(高流速)までの広い計測流速範囲(ダイナミックレンジ)で良好な計測精度や応答性を得ることが課題とされており、従来より種々の配慮がなされている。

【0007】 例えば、特開平11-14414号公報では、発熱抵抗素子と上流、下流側の測温抵抗素子との間の熱伝導経路に熱伝導促進部材を配設して流量検出素子

の応答性を向上させており、特開平4-343024号公報では、基板の絶縁層上に大流量計測部と小流量計測部とを設け、小流量計測部を構成する発熱抵抗体及び上下流の測温抵抗体と、大流量計測部を構成する発熱抵抗体及び上下流の測温抵抗体との大きさを変えて、広い計測流量範囲を得る等している。

【0008】本発明の目的は、一つの流量計測部だけで計測流速（流量）範囲が広く、高速応答で且つ信頼性の高い温度差方式の熱式空気流量センサを実現でき、特に内燃機関の吸入空気量の測定に好適な熱式空気流量センサと、この熱式空気流量センサを用いた内燃機関制御装置を提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明は次のように構成する。

【0010】半導体基板に空洞部と該空洞部を覆う電気絶縁膜よりなるダイヤフラム部を形成し、このダイヤフラムに発熱抵抗体とこの発熱抵抗体の熱的影響を受ける測温抵抗体とを形成し、前記測温抵抗体は前記発熱抵抗体を挟んで空気流の上流側と下流側に配置され、少なくともこの上流側と下流側の測温抵抗体の温度差に基づき空気流量を計測する熱式空気流量センサであって、前記ダイヤフラムは、空気流れ方向の幅（W）が0.7mm以下で、前記発熱抵抗体は、空気流れ方向の幅（Wh）が0.1mm以上で、且つ、前記上流側、下流側の各測温抵抗体は、空気流れ方向の敷設幅（Ws）が0.1～0.2mmの範囲で構成されている。

【0011】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を、図面に示した実施例に基づき詳細に説明する。

【0012】図1は、本発明の熱式空気流量センサの素子を示す平面図、図2は、図1のA-A'線断面図、図3は、図1の部分拡大図である。これらの図において、センサ素子1は、全体が半導体基板2をベースとして形成されている。

【0013】半導体基板2は、裏面からのエッチング加工により空洞部8が形成されている単結晶ケイ素（Si）の板で、その一方の面（図では上側の面）に電気絶縁膜7aによるダイヤフラム部3が形成されている。ここで、空洞部8は輪郭が略矩形の孔として形成されている。電気絶縁膜7aは、一例として二酸化ケイ素（SiO<sub>2</sub>）の薄膜で作られている。

【0014】ダイヤフラム部3は、空洞部8の一面全体を覆う構造であり、測定対象である空気の流れ方向の幅が（W）である。その表面には、発熱抵抗体4と、その上流側に位置する測温抵抗体5a、5b及び下流側に位置する測温抵抗体5c、5dが形成されている。

【0015】本例では、上流側測温抵抗体、下流側測温抵抗体は、符号5a、5b及び5c、5dに示すようにそれぞれ2個あり、その回路構成は、図6に示すように

上流側測温抵抗体5aと下流側測温抵抗体5cとが直列に接続され、下流側測温抵抗体5dと上流側測温抵抗体5bとが直列に接続され、かつこれらの測温抵抗体により接続端子12b及び12fを介してブリッジ回路を構成しており、所定の電圧Vrefが印加されている。

【0016】ダイヤフラム部3の外側にも電気絶縁膜7aが形成されており、この外側の電気絶縁膜7aの表面には、空気温度測温抵抗体6が設けられている。

【0017】発熱抵抗体4と空気温度測温抵抗体6は、図6に示すように抵抗21aと抵抗21bとによりブリッジ回路が構成され、ブリッジ回路と接続される制御回路16及びトランジスタ20を介して、発熱抵抗体4と空気温度測温抵抗体6との温度差が所定の差になるように、発熱抵抗体4に流れる加熱電流が制御されるようにしてある。

【0018】発熱抵抗体4、空気温度測温抵抗体6および測温抵抗体5a～5dは、不純物ドーブ処理された多結晶又は単結晶のケイ素の薄膜により、所定の導電性（抵抗値）を持つ細条の抵抗パターンとして形成されている。

【0019】発熱抵抗体4は、矢印9で示した空気の流れ方向に対して略直交する方向に一直線に配置されており、この発熱抵抗体4の上流側に位置する測温抵抗体5a、5b及び下流側に位置する測温抵抗体5c、5dは、それぞれダイヤフラム部3の一端から発熱抵抗体4に沿って伸びてダイヤフラム部中央付近でユートーンするようにパターン形成され、このようなパターン形成により測温抵抗体の長さをダイヤフラム部3の中で有効に確保している。上流側の測温抵抗体5a、5b及び下流側の測温抵抗体5c、5dは、対称配置されている。

【0020】電気絶縁膜7aの表面でダイヤフラム部3の外側には、基板2の一边寄りの位置に、発熱抵抗体4、測温抵抗体5a～5d、空気温度測温抵抗体6の配線接続部11（11a、11b、11c、11d、11e、11f、11g、11h、11i、11j、11k、11l）と、それらの端子電極部12（12a、12b、12c、12d、12e、12f、12g、12h）が形成されている。

【0021】端子電極部12は、アルミニウム（Al）、金（Au）などの薄膜パッドで形成されている。そして、電気絶縁膜7aの表面には、各抵抗体などを保護するための電気絶縁膜7bが、図2に示すように設けられている。

【0022】本実施例では、空洞部8は異方性エッチングにより矩形の輪郭で形成し、その空洞を電気絶縁膜で覆っているが、このような形態によれば、基板表面に多数のスリットを形成してこのスリットを通して空洞を形成する方式に較べて内燃機関用に適している。すなわち、内燃機関の吸気管中には、塵埃、油、水などが空気流に混じることがあるが、これらがスリットから空洞部

に進入したりスリット部に堆積することがないためである。

【0023】次に本実施形態による空気流量計測動作について説明する。

【0024】発熱抵抗体4には、加熱電流が供給され、発熱抵抗体の温度が空気流9の温度よりも一定の温度だけ高くなるように制御される。この加熱電流制御についての回路動作及び測温抵抗体の回路動作については、図6により後述する。

【0025】空気の流量と空気の流れる方向は、発熱抵抗体4の上流側に設けられている測温抵抗体5a、5bと下流側に設けられている測温抵抗体5c、5dの温度(抵抗値)を比較することにより計測される。

【0026】すなわち、空気流量がゼロのときは、上流側の測温抵抗体5a、5bと下流側の測温抵抗体5c、5dは、発熱抵抗体4の発熱による加熱条件が同じなので、同じ温度を示すことになり、温度差は生じない。換言すれば、ダイヤフラム部3上の温度分布は、上流側も下流側も等しいことになる。空気の流れが矢印9方向(これを順流という)のときは、上流側の測温抵抗体5a、5bの方が下流側の測温抵抗体5c、5dより空気流9による冷却効果が大きいことから、上流側測温抵抗体5a、5bと下流側測温抵抗体5c、5dとの間に温度差が生じ、この温度差から空気流量が計測される。

【0027】一方、空気の流れが矢印9と反対の方向(逆流という)のときには、今度は測温抵抗体5c、5dの温度の方が測温抵抗体5a、5bより低くなり、測温抵抗体5a、5bと5c、5dとの温度差を表す符号が逆転する。

【0028】従って、このことから、温度差の大きさにより空気流量が計測でき、温度差の符号から空気の流れ方向が判別できる。

【0029】図4は、図1のセンサ素子1を、例えば自動車の内燃機関の吸気通路10に実装し、内燃機関制御装置とした場合の一実施形態を示す断面図で、この場合、センサ素子1は、支持体14と外部回路15を含んだ形で、吸気通路10の内部にある副通路13の中に配置される。外部回路15は、図6に示す制御回路16、トランジスタ20、抵抗21a、21bなどで構成され、支持体14を介してセンサ素子1の端子電極部12(図1)に電気的に接続されることになる。

【0030】なお、本実施例における制御回路16は、加熱電流を制御するほかにCPU及びメモリ22を備えることで、センサ素子の測温抵抗体の温度差検出値に基づき吸入空気量(Q)を算出する。さらにこの吸入空気量に基づき、図示されないエンジン制御回路により内燃機関の燃料噴射量を制御するように構成されている。

【0031】内燃機関の吸入空気は、通常は矢印9で示す方向に流れる(順流)。内燃機関の運転条件によっては、矢印9とは反対の方向に流れる場合(逆流)もある

が、この実施形態によれば、順流、逆流いずれの場合でも空気流量が正しく計測でき、且つ、それらの判別も可能である。

【0032】内燃機関の吸入空気流量は、高流量域では、質量流量で $Q=600\text{ kg/時}$ 、流速にて $v=50\text{ m/秒}$ の高流量に達し、アイドル運転などの低流量域から高負荷運転による高流量域までの広い範囲(ダイナミックレンジ)での計測が要求される。

【0033】図5は、センサ素子1と支持体14を拡大して示した図で、図示のように、センサ素子1は、絶縁体からなる支持体14に取付けられ、アルミ等の電気絶縁基板上に端子電極部17と信号処理回路が形成してある外部回路15が、同じく支持体14上に取付けられている。

【0034】センサ素子1と外部回路15は、端子電極部12と端子電極部17の間を金線18などでワイヤボンディングして電気的に接続した後、金線18、電極端子12、17と外部回路15を保護するため、上側から図示していない支持体を設けることにより保護される。

【0035】次に、図6により、本実施形態の回路構成及び動作を説明する。

【0036】図6の回路は、センサ素子1の各抵抗体4、5a、5b、5c、5d、6と、それらを駆動し制御する回路を示したものである。この図において、19は電源、20は加熱電流制御用のトランジスタ、21a、21bは抵抗、16は制御回路、22はメモリ回路である。制御回路16は、A/D変換器などを含む出力回路、それに演算処理などを行なうCPUで構成されている。

【0037】発熱抵抗体4と空気温度測温抵抗体6は、抵抗21a、21bと共にブリッジ回路を形成し、その端子12a、12cの電圧が制御回路16に入力され、発熱抵抗体4の温度( $T_h$ )が空気温度に対応する空気温度測温抵抗体6の温度( $T_a$ )より、或る一定値( $\Delta T_h = T_h - T_a = 150^\circ\text{C}$ )だけ高くなるように各抵抗21a、21bの値が設定され、制御回路16により加熱電流が制御される。

【0038】すなわち、発熱抵抗体4の温度が設定値より低い場合には、制御回路16の出力によりトランジスタ20がオンし、発熱抵抗体4に加熱電流が流れ、設定温度より高くなるとトランジスタ20がオフし、これにより発熱抵抗体4の温度が設定値を保つように制御される。

【0039】上流側測温抵抗体5a、5bと下流側測温抵抗体5c、5dの温度差(抵抗値差)は、これらの抵抗体により構成されたブリッジ回路の端子12g、12eの電位差により検出される。

【0040】予め、空気流量がゼロの時にブリッジ回路の端子12g、12eの電位が一致するように、調整抵抗(図示せず)の抵抗値を調整するか、メモリ22に予

め空気流量がゼロの時の端子12g, 12eの電位差を記憶しておく。

【0041】空気流量の計測は、予め空気流量(Q)とブリッジ回路の端子12g, 12eの電位差との関係をメモリ22にマップとして記憶しておき、端子12g, 12eの電位差及び大小関係から、空気流量(Q)の計測値と流れ方向を判定して出力することができる。

【0042】本実施形態では、図示のブリッジ回路構成を前提として、発熱抵抗体4と空気温度測温抵抗体6の抵抗温度係数( $\alpha$ )が等しくなるように、これらと同じ不純物濃度にした多結晶或いは単結晶のケイ素半導体薄膜で形成してあり、これにより、発熱抵抗体4の温度( $T_h$ )を設定(例えば $\Delta T_h = 150^\circ\text{C}$ )する際に必要な各抵抗21a, 21bの抵抗値が単純な比例関係になるので、これらの設定が容易で簡便にできる。

【0043】本例では、4個の測温抵抗体5a, 5b, 5c, 5dを用い、温度差検出のためのブリッジ回路を、上流側測温抵抗体5aと下流側測温抵抗体5cとの直列接続の組と下流側測温抵抗体5dと上流側測温抵抗体5bとの直列接続の組とを並列に組み合わせることで構成し、このようにすることにより、端子12g, 12e間に生じる電位差が、一对の測温抵抗体からなるブリッジ回路に比して、約2倍になりその結果、感度が上がり、精度が向上する。

【0044】なお、空気流量(Q)の検出に際し、上流側測温抵抗体5a, 5bと下流側測温抵抗体5c, 5dの温度差を検出するのに加えて、発熱抵抗体4に流す加熱電流(図6における端子12cの電位に相当)を乗算して流量検出信号とすることも可能である。

【0045】次に、図7, 図8, 図9及び図10により、本実施形態のセンサ素子1の空気流量計測特性について説明する。

【0046】図7は、センサ素子1の上流側測温抵抗体5a, 5bと下流側測温抵抗体5c, 5dの温度差( $\Delta T$ )と空気流量(Q)の関係を示したものである。空気流量(Q)は $600\text{ kg/h}$ までの流量範囲で空気流速( $v$ )に換算すると約 $50\text{ m/秒}$ に対応する高流量範囲になっている。

【0047】図中の破線24, 実線23および一点鎖線25は、図2, 図3で示したダイヤフラム幅(W)を各々 $1\text{ mm}$ ,  $0.7\text{ mm}$ および $0.5\text{ mm}$ とした例である。ダイヤフラム3を形成する絶縁膜7b, 7aの全厚は $1\sim 2\text{ }\mu\text{m}$ で、抵抗体4及び5a $\sim$ 5d, 6の膜厚は $1\sim 2\text{ }\mu\text{m}$ で、各抵抗体間の間隔および抵抗体5a $\sim$ 5dから空気流れ方向のダイヤフラムの縁(端部)までの各間隔は $5\sim 50\text{ }\mu\text{m}$ である。上記の間隔が $50\text{ }\mu\text{m}$ 以上になると、ダイヤフラム部3の熱容量が大きくなり過ぎ、また、ダイヤフラム部3上の温度分布勾配が必要以上に小さくなり、センサの熱応答性が低下する。

【0048】ダイヤフラム幅(W)が $1\text{ mm}$ の破線24

は、低流量域では比較的感受度が高くなっているが、空気流量(Q)が $600\text{ kg/h}$ 以下の流量にて出力( $\Delta T$ )が飽和し、その後、出力が低下する傾向となり、十分にダイナミックレンジが確保できていない。したがって、この特性は、低流量の空気流量測定に用途が限定される。

【0049】一方、ダイヤフラム幅(W)が $0.7\text{ mm}$ および $0.5\text{ mm}$ の実線23および一点鎖線25では、空気流量(Q)が $600\text{ kg/h}$ まで飽和せずに単調に増加し飽和することがなく広くダイナミックレンジが確保できている。

【0050】このように、ダイヤフラム幅(W)が $0.7\text{ mm}$ を越え $1\text{ mm}$ の破線24では、発熱抵抗体4の上流側測温抵抗体5a, 5bは空気流量の増大とともに徐々に冷却効果が増大し温度が低下する一方、下流側測温抵抗体5c, 5dでは発熱抵抗体4の熱影響で温度が上昇すべきところが発熱抵抗体4から距離が離れることから熱影響が無くなり温度が低下し、結果的に高流量領域にて上下流の測温抵抗体の温度差( $\Delta T$ )出力が減少することになる。

【0051】次に、図8に応答特性(立上がり特性)を示す。図中の破線24, 実線23および一点鎖線25は、図7と同じ構成の熱式空気流量センサに対応している。

【0052】ダイヤフラム幅(W)が $0.7\text{ mm}$ および $0.5\text{ mm}$ の実線23および一点鎖線25では、応答速度が $10\text{ mS}$ 以下の高速応答を示しているが、ダイヤフラム幅(W)が $1\text{ mm}$ の破線24では応答速度が急激に低下している。

【0053】これは、ダイヤフラム幅(W)が大きくなるにしたがい、ダイヤフラム部の体積が増大し熱容量も大きくなるため、結果的に発熱抵抗体4への通電開始からダイヤフラム部を所定の温度に暖めるのに時間を要することになる。

【0054】以上の図7および図8の結果から、空気流量範囲のダイナミックレンジを確保し、且つ、応答速度を高めるにはダイヤフラム幅(W)を $0.7\text{ mm}$ 以下とする必要があることが判明した。

【0055】図9に発熱抵抗体4の幅( $W_h$ )と加熱通電による発熱抵抗体4の抵抗経時変化( $\Delta R/R$ )の結果を示した。発熱抵抗体4の加熱温度は $250^\circ\text{C}$ で約 $1000$ 時間通電後の抵抗値の経時変化を示している。

【0056】発熱抵抗体4の抵抗経時変化が大きくなると、発熱抵抗体4と空気温度測温抵抗体6で構成するブリッジ回路の平衡状態が通電初期よりも変化する。このため、時間の経過とともに加熱温度が変化することになり、結果として上下流の測温抵抗体の温度差( $\Delta T$ )出力が変わり計測精度の劣化となる。

【0057】図に見るように、発熱抵抗体4の幅( $W_h$ )が $0.1\text{ mm}$ より小さくなると急激に発熱抵抗体4

の抵抗経時変化 ( $\Delta R/R$ ) が増大している。

【0058】これは、発熱抵抗体4の幅 (Wh) が小さくなるに従い、加熱電流の電流密度が増大し、発熱抵抗体内部の単位面積当たりの発熱量が増大すること、また、発熱抵抗体4の幅 (Wh) 内の温度分布が不均一になり等価的に局所的に温度上昇することから、発熱抵抗体4の膜質の変化或いは不純物が拡散する等の原因と考えられる。

【0059】この結果から、長時間にわたって信頼性を確保するには、加熱抵抗体4の幅 (Wh) として0.1 mm以上とする必要があることがわかった。

【0060】図10には、測温抵抗体5a, 5b, 5c, 5dの敷設幅 (Ws) と図7に示した温度差 ( $\Delta T$ )—空気流量 (Q) 特性曲線の高流量域の傾き ( $\Delta T/\Delta Q$ ) の関係を示したものである。

【0061】この傾き ( $\Delta T/\Delta Q$ ) は、流量センサとしての流量感度を表すパラメータであり、大きい値が要求される。図から、測温抵抗体の幅 (Ws) が0.2 mmを越えると、流量感度 ( $\Delta T/\Delta Q$ ) が急激に低下し始める。

【0062】これは、測温抵抗体の敷設幅 (Ws) が増大すると、測温抵抗体の敷設幅 (Ws) を小さくした場合よりも、測温抵抗体は、ダイヤフラム部3上の温度分布 (図2の破線イ、1点鎖線ロで示す) における温度が低い方の領域にまでかかることになり (換言すれば、敷設幅の一端が発熱抵抗体から遠ざかる) ので、特に下流側の測温抵抗体5c, 5dは、その分だけ発熱抵抗体4からの熱影響が無くなり、結果的に高流量域にて測温感度が低下し上下流の測温抵抗体の温度差 ( $\Delta T$ ) 出力が減少することになるためである。なお、図2の温度分布イは、空気流のゼロの状態の場合、温度分布ロは空気流がある場合である。

【0063】また、測温抵抗体の幅 (Ws) が0.1 mm以下では、発熱抵抗体4に比較して大きな抵抗値とする必要がある測温抵抗体パターンを有効に形成する領域が確保できなくなる。発熱抵抗体4の抵抗値としては、50~1000  $\Omega$  の範囲で、測温抵抗体の抵抗値としては、1 k~30 k  $\Omega$  の範囲とする必要がある。

【0064】以上の結果から、測温抵抗体の幅 (Ws) としては0.1~0.2 mmが最も適切な値であることが分かる。

【0065】本発明は、上記知見にしたがってW, Wh, Wsを構成することにより、内燃機関のような広範囲のダイナミックレンジが要求される熱式空気流量センサにおいても、従来のように大流量計測部と小流量計測部といったそれぞれ別の測温抵抗体や発熱抵抗体を用意することなく、一つの流量計測部によって、高速応答で且つ信頼性の高い熱式空気流量センサを実現することができた。

【0066】以上の実施例では、発熱抵抗体4のパター

ン形状としては一直線のI上パターンとしていたが、図11(a), (b), (c) および(d) に示すようなパターン形状であっても本発明の効果に変わりはない。

【0067】単結晶ケイ素基板2の表面を熱酸化或いはCVD等の方法により、例えば約0.4~1  $\mu\text{m}$  の厚さの二酸化ケイ素層と窒化ケイ素層の積層膜を形成する。これは電気絶縁膜7aとなる。

【0068】次いで抵抗体となる多結晶ケイ素膜を同じくCVD等の方法により、約1~2  $\mu\text{m}$  の所定の厚さに形成する。次に、この抵抗体形成用の半導体薄膜に、熱拡散又はイオン打ち込みなどの方法により不純物拡散を行なう。

【0069】次に、公知のホトリソグラフィ技術により所定の形状にレジストを形成した後、反応性イオンエッチングなどの方法により、半導体薄膜をパターニングし、各抵抗体4, 5a, 5b, 5c, 6と配線接続部11 (11a, 11b, 11c, 11d, 11e, 11f, 11g, 11h, 11i, 11j, 11k, 11l) を得る。

【0070】次いで後工程として、CVD等の方法により、例えば約0.4~1  $\mu\text{m}$  の厚さの二酸化ケイ素層と窒化ケイ素層の積層膜を形成する。これは保護膜7bとなる。

【0071】ここで、電気絶縁膜7aおよび保護膜7bの材質としては、熱膨張係数が単結晶ケイ素の半導体基板2の1/10である二酸化ケイ素の層と、熱膨張係数が半導体基板2より若干大きい窒化ケイ素の層による多層構成とし、熱膨張係数のマッチングを図った構成とすることもでき、これによれば、温度変化による半導体基板2と保護膜8b間の熱応力が低減できるので、強度の向上を更に図ることができる。

【0072】次に、外部回路と接続のための端子電極部12 (12a, 12b, 12c, 12d, 12e, 12f, 12g, 12h) となる部分の保護膜8bを除去し、アルミニウム、金などにより端子電極12を形成する。

【0073】ここで、配線接続部11も、単結晶ケイ素半導体薄膜とアルミニウム、金などの金属膜による多層膜構成にしてもよい。

【0074】最終工程では、半導体基板2の裏面にエッチング用のマスク材を所定の形状にパターニングし、水酸化カリウム (KOH) などのエッチング液を用いて異方性エッチングして空洞部8を形成してやれば、この実施形態による熱式空気流量のセンサ素子1が完成することになる。

【0075】ところで、この実施形態では、図6に示されているように、発熱抵抗体4と空気温度測温抵抗体7は、一方の端子が直接接続される。

【0076】また、ダイヤフラム部3上の上流, 下流の温度分布測定用の測温抵抗体5a, 5b, 5c, 5d



も、ブリッジ回路を形成しているため、相互に直接接続されている端子がある。

【0077】そこで、この実施形態では、図1に示されるように、各抵抗体が直接接続される部分の配線接続部11については、センサ素子1内で共通にして端子電極12を設けるようにしている。

【0078】具体的には、図1の通りで、端子電極部12hは、発熱抵抗体4の一方の配線接続部11lと空気温度測温抵抗体6の一方の配線接続部11bとの共通の+電源端子としている。

【0079】上流側測温抵抗体5aの一方の配線接続部11dと下流側測温抵抗体5cの一方の配線接続部11kとは直列に接続され、配線接続部11dと配線接続部11kの間が電位取り出し用の電極12gになっている。

【0080】端子電極12fは、下流側測温抵抗体5cの他方の配線接続部11jと上流側測温抵抗体5bの配線接続部11eの共通-電源端子になっている。

【0081】上流測温抵抗体5bの他方の配線接続部11fと下流側抵抗体5dの一方の配線接続部11iは直列に接続され、その接続部12eが電位検出用の端子電極部となっている。

【0082】したがって、この実施形態によれば端子電極の共通化が図られ、端子電極の数が減少することから、センサ素子1のチップ面積を小さくでき、基板当たりのチップ取り数が多くなることと、外部回路との接続のためのワイヤボンディングなどの工数が低減できることにより、低コスト化が図れる。

【0083】ところで、以上は、各抵抗体を多結晶ケイ素半導体薄膜で形成した場合の実施形態について説明したが、本発明は、各抵抗体を単結晶ケイ素半導体薄膜で形成しても、或いは白金などの金属材料で各抵抗体を形成してもよく、いずれの実施形態によっても、同様の効果を得ることができる。

【0084】また、上記実施形態では、発熱抵抗体4の上下流に2対の測温抵抗体5a、5b、5c、5dを配した場合について説明したが、1対の測温抵抗体を配した実施形態によってもよく、この場合も同様の効果を得ることができる。

【0085】

【発明の効果】本発明によれば、半導体基板の空洞を電気絶縁膜により全面を一樣に覆う構成にし、且つ、ダイヤフラム、発熱抵抗体及び上下流の測温抵抗体の配置を最適な構造にすることにより、計測流速範囲（ダイナミックレンジ）が広く、高速応答で且つ信頼性の高い温度差方式の熱式空気流量計を実現でき、特に内燃機関用に好適な熱式空気流量センサと、これを用いた内燃機関制御装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態における熱式空気流量センサの素子を示す平面図。

【図2】図1のA-A'線断面図。

【図3】図1の部分拡大図

【図4】上記熱式空気流量センサの実装状態の一例を示す説明図。

【図5】上記センサ素子の実装状態の一例を示す説明図。

【図6】本発明の一実施形態における熱式空気流量センサの回路構成図。

【図7】上記実施形態におけるセンサ素子の上下流測温抵抗体と下流側測温抵抗体の温度差（ $\Delta T$ ）と空気流量（ $Q$ ）の関係を示す特性線図。

【図8】上記実施形態におけるセンサ素子のダイヤフラム幅（ $W$ ）の効果を説明するための立ち上がり時間特性図。

【図9】上記実施形態におけるセンサ素子の発熱抵抗体の幅（ $W_h$ ）の効果を説明するための抵抗経時変化の特性図。

【図10】上記実施形態におけるセンサ素子の測温抵抗体の敷設幅（ $W_s$ ）の効果を説明するための流量感度特性図。

【図11】本発明に適用される発熱抵抗体の他の例を示す平面図。

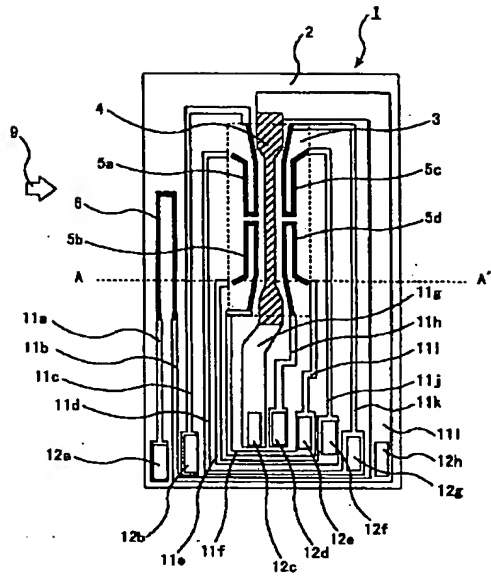
【符号の説明】

1…センサ素子、2…半導体基板、3…ダイヤフラム部、4…発熱抵抗体、5a、5b…上流側測温抵抗体、5c、5d…下流側測温抵抗体、6…空気温度測温抵抗体、7a…電気絶縁膜、7b…保護膜、8…空洞部、9…空気流。



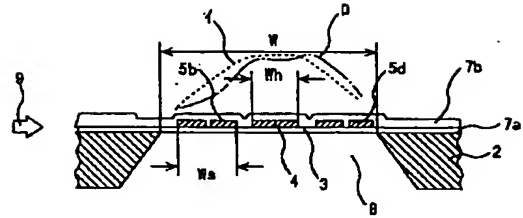
【図1】

図 1



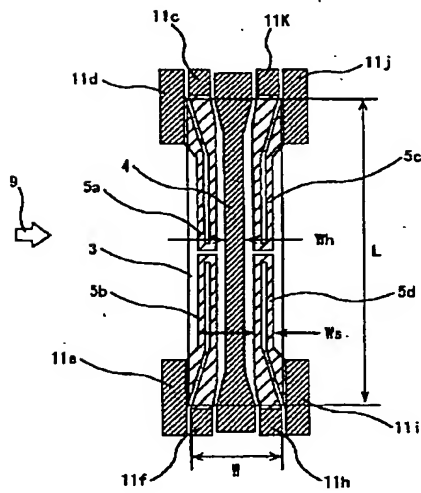
【図2】

図 2



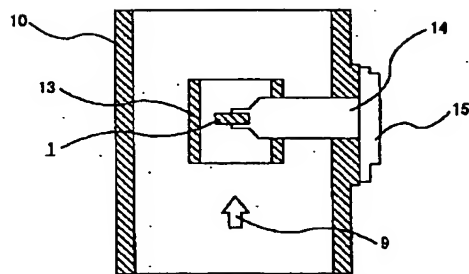
【図3】

図 3



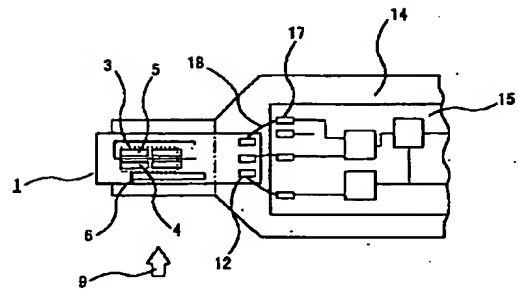
【図4】

図 4



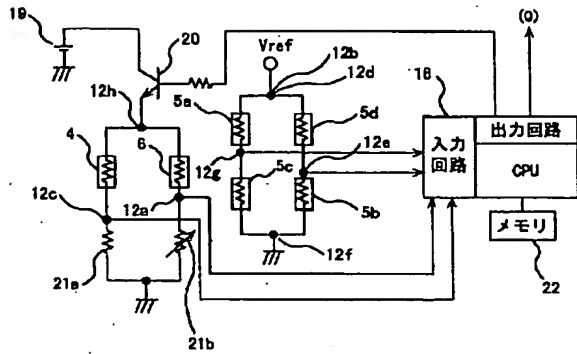
【図5】

図 5



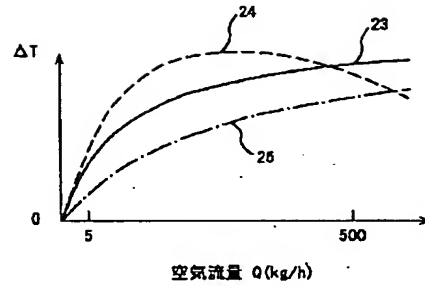
【図6】

図 6



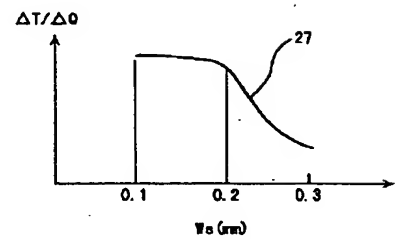
【図7】

図 7



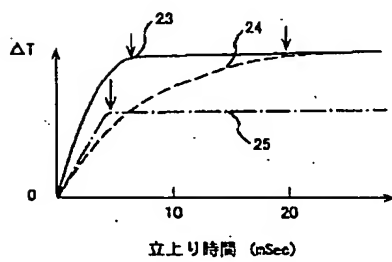
【図10】

図 10



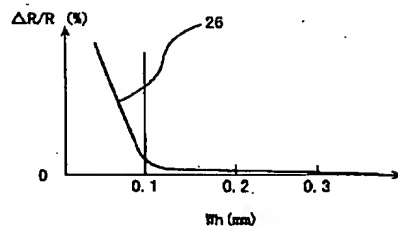
【図8】

図 8



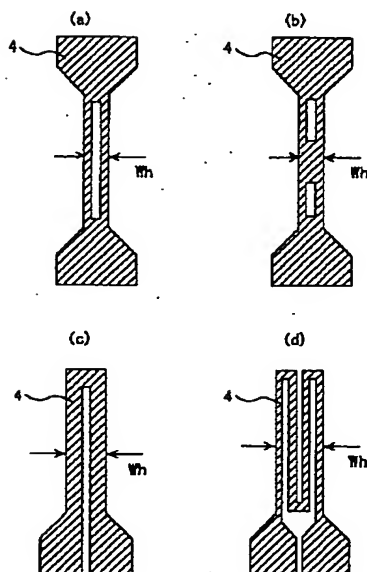
【図9】

図 9



【図11】

図 11



フロントページの続き

(72) 発明者 渡辺 泉

茨城県ひたちなか市高場2477番地 株式会  
社日立カーエンジニアリング内

(72) 発明者 中田 圭一

茨城県ひたちなか市大字高場2520番地 株  
式会社日立製作所自動車機器グループ内

Fターム(参考) 2F035 EA05 EA08 EA09